NOVA SCHOOL OF
SCIENCE & TECHNOLOGY

DEPARTAMENTO
DE FÍSICA

DEPARTMENT
OF PHYSICS

Electromagnetismo Q

Guiões dos trabalhos Práticos

2025-2026

Conteúdo

1 Traçado das linhas equipotenciais do campo eléctrico **1**
1.1 Introdução 1
1.2 Parte experimental 3
1.3 Folha de Registo do Trabalho Experimental nº1 5

2 Lei de Ohm e Circuitos de Corrente Contínua **7**
2.1 Introdução 7
2.2 Parte Experimental 9
2.3 Folha de Registo do Trabalho Experimental nº2 11

Trabalho Experimental 1

Traçado das linhas equipotenciais do campo eléctrico

As representações a duas dimensões de campos estáticos são conseguidas colocando condutores num papel de grande resistência. Neste trabalho pretende-se traçar as linhas equipotenciais e as linhas de força eléctricas criadas por um dipolo eléctrico. Finalmente, podemos determinar o campo eléctrico em alguns pontos.

1.1 Introdução

As cargas eléctricas produzem campos eléctricos vectoriais, em que a intensidade, direcção e sentido podem ser determinados fazendo a medição da força eléctrica a que fica sujeita uma carga infinitesimal aí colocada. Como a força electrostática dada pela lei de Coulomb é conservativa, os fenómenos electrostáticos podem ser descritos em termos de potenciais eléctricos escalares, evitando-se, assim, as dificuldades associadas aos campos vectoriais.

Quando todas as cargas estão em repouso, situação electrostática, a superfície de um eléctrodo condutor ideal forma uma superfície equipotencial. Quando se aplica (e mantém) uma diferença de potencial entre eléctrodos cria-se um campo eléctrico na região que os envolve. Esse campo estende-se pelas 3 dimensões do espaço e as superfícies equipotenciais localizam-se no espaço vazio que envolve os eléctrodos. No entanto, estas medições tridimensionais não são viáveis no nosso laboratório.

Assim, iremos estudar uma situação onde será mais fácil efectuar medições e que produzirá distribuições de superfícies equipotenciais análogas às obtidas com configurações de cargas electrostáticas. Os eléctrodos são construídos com uma fita de cobre e o meio, ligeiramente condutor, será uma folha impregnada de grafite. Uma fonte de tensão contínua (DC) estabelecerá a diferença de potencial constante entre os eléctrodos. A diferença de potencial entre um dos eléctrodos e qualquer ponto na superfície do papel pode ser medida com um voltímetro. Os pontos ao mesmo potencial permitem obter linhas equipotenciais. As equipotenciais formam um diagrama a 2 dimensões que é, qualitativamente, análogo à intersecção por um plano das superfícies a 3 dimensões correspondentes a uma configuração electrostática. Como as linhas de forças do campo eléctrico são, sempre, perpendiculares às superfícies equipotenciais, podemos obter o diagrama dessas linhas num plano.

O campo electrostático pode ser obtido a partir do gradiente de uma função potencial, isto é,

$$\vec{E} = -\overrightarrow{grad}\, V \tag{1.1}$$

Assim, atendendo às propriedades gerais da função "gradiente", podemos deduzir que:

1. as linhas de força do campo electrostático são normais às superfícies equipotenciais;
2. o campo eléctrico, assim como as linhas de força do campo electroestático, apontam no sentido dos potenciais decrescentes.

Por definição, o gradiente de uma função escalar $\varphi(x, y, z)$ é (em coordenadas rectangulares cartesianas)

$$\overrightarrow{grad}\,\varphi = \vec{\nabla}\varphi = \frac{\partial\varphi}{\partial x}\hat{\mathrm{i}} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\hat{\mathrm{j}} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\hat{\mathrm{k}}$$

O vector $\vec{\nabla}\varphi$ é perpendicular às superfícies ou às linhas "equi-φ" e tem o sentido do crescimento de φ.

Superfícies ou linhas "equi-φ": linhas onde $\varphi(x, y, z) = \mathrm{C}$, com C uma constante. Por exemplo, as curvas de nível nos mapas são linhas "equi-altitude".

Quando se verifica simultaneamente que:

- a função $\varphi(x, y, z)$ não é conhecida analiticamente (i.e não se pode calcular $\frac{\partial\varphi}{\partial x}$ por derivação de $\varphi(x, y, z)$) e que
- a função $\varphi(x, y, z)$ pode ser medida ou é conhecida em alguns pontos isolados.

O gradiente $\vec{\nabla}\varphi$ pode ser determinado de acordo com o método seguinte:

1. determina-se a direcção de $\vec{\nabla}\varphi$ (perpendicular às linhas "equi-φ"); esta direcção será escolhida como o eixo x', por exemplo,
2. mede-se um $\Delta\varphi$ correspondente a um $\Delta x'$ ao longo deste eixo,
3. recorre-se à aproximação
$$\frac{\partial\varphi}{\partial x'} \approx \frac{\Delta\varphi}{\Delta x'} \tag{1.2}$$
Como $\Delta\varphi$ e Δx devem ser o mais pequeno possível, lembramos que
$$\frac{\partial\varphi}{\partial x} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta x}.$$
4. finalmente,
$$\nabla\varphi \cong \frac{\Delta\varphi}{\Delta x'}$$

É este método é utilizado para determinar o campo eléctrico a partir das linhas equipotenciais obtidas durante este trabalho prático.

1.2 Parte experimental

Neste trabalho iremos utilizar dois elementos básicos: i) um papel condutor negro, impregnado de grafite, constituindo o meio condutor ou espaço entre os eléctrodos; este papel é isotrópico e homogéneo e de baixa condutividade σ (ou de alta resistividade, tendo uma resistência não desprezável à passagem da corrente eléctrica) e ii) uma fita de cobre com um adesivo condutor numa das faces.

1.2.1 Material utilizado

No laboratório encontrará, pelo menos, o seguinte material para a realização do trabalho:

- V - um multímetro digital,
- V_F - uma fonte de tensão,
- Uma caixa plástica com uma tampa de cortiça e que contém no seu interior:

  Fita de cobre $3M^{TM}$ 1181 (com uma resistência eléctrica desprezável através do adesivo) para fazer os eléctrodos E1 e E2,

  P1 - ponta de prova,

  Papel condutor (R $\cong$ 5 kΩ/cm),

  Lápis de mina macia e lápis de cor.

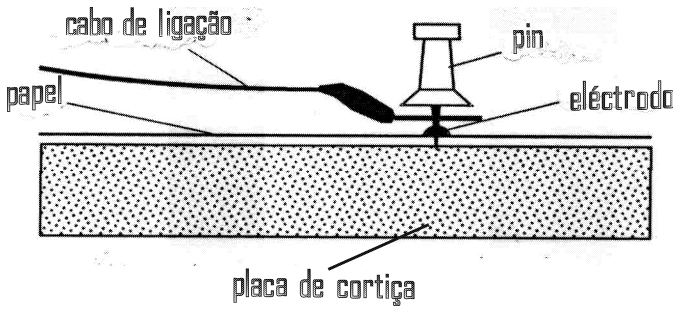
1.2.2 Procedimento experimental

1.2.2.1 Montagem dos Eléctrodos

1. Faça um esquema da montagem dos eléctrodos numa folha de papel normal. Uma vez concluído o esquema, apresente-o ao docente antes de proceder à montagem.
2. Monte a folha de papel condutor sobre a placa de cortiça usando os "pins" metálicos nos cantos da folha.
3. Remova a película protetora do autocolante e prima os eléctrodos de moda a que a face adesiva adira bem à folha.

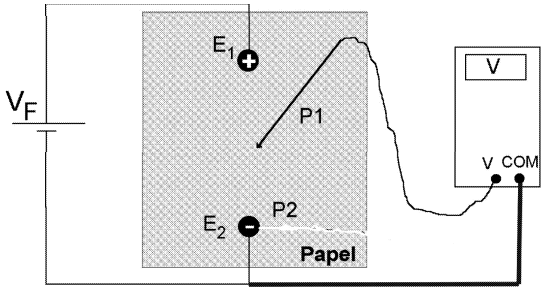
1.2.2.2 Ligar os Eléctrodos à Fonte de Tensão

1. Com a fonte de tensão desligada, estabeleça as ligações entre a fonte de tensão e os eléctrodos. Coloque o anel menor do terminal sobre o eléctrodo, faça passar um "pin" metálico através do anel e do eléctrodo e entrando, firmemente, na placa de cortiça. Veja a figura abaixo.



Com o multímetro em modo "Voltímetro", ligue um cabo banana/banana entre o terminal preto (-) (ou "COM") e o terminal preto (-) da fonte de tensão. A ponta de prova P_1 (de cor vermelha e disponível na

caixa interior do multímetro de bancada) deverá ser ligada ao terminal vermelho (V) do multímetro (veja a montagem seguinte) Verifique que a diferença de potencial entre os dois eléctrodos é de 0 V.



Ligue a fonte de tensão e, medindo com o voltímetro, estabeleça uma diferença de potencial de ∼12 V entre os dois eléctrodos.

1.2.2.3 Traçado das Linhas Equipotenciais

Nesta parte do seu trabalho irá desenhar 5 linhas equipotenciais, 5 troços de linhas equipotenciais e 5 linhas de força. Com a ponta de prova P_1 meça o valor do potencial num ponto e assinale-o com o lápis de mina macia. Procure o mesmo valor de potencial para outro ponto na vizinhança e assinale-o no papel negro. Repita o procedimento anterior para vários pontos até poder obter uma linha equipotencial.

1. Desenhe uma equipotencial numa zona próxima de cada um dos eléctrodos, uma na distância média entre os eléctrodos e mais duas entre esta última e as outras equipotenciais perto dos eléctrodos. **Trace as equipotenciais com mais precisão perto do limite do papel.** Registe no papel condutor o valor do potencial de cada linha equipotencial traçada.

2. Desenhe um troço (2cm) de equipotencial muito próximo (∼5mm) de cada uma das linhas equipotenciais completas obtidas anteriormente e intersectando a linha recta que une os eléctrodos. Registe o valor do potencial eléctrico para cada um dos troços traçados.

1.3 Folha de Registo do Trabalho Experimental n^{o}1

Data:_____Turno Prático:_____Grupo:_____.

N^o:_____Nome:_____Curso:_____.

N^o:_____Nome:_____Curso:_____.

Diferença de potencial entre os dois eléctrodos com a fonte de tensão ligada: _____

Nota: a folha de papel condutor, com as linhas equipotenciais e as linhas de força traçadas, faz parte do conjunto de dados registados.

Trace 5 linhas de força do campo eléctrico com o lápis de cor. Que critério usou para as traçar?_____.
_____.
_____.
_____.

Usando os troços de equipotenciais traçados calcule o valor do campo eléctrico em cada um dos cinco pontos de intersecção entre cada linha equipotencial e a linha recta que une os eléctrodos.
Valor da intensidade do campo eléctrico em nesses cinco pontos:

$||\vec{E}_1|| =$_____ _____.
$||\vec{E}_2|| =$_____ _____.
$||\vec{E}_3|| =$_____ _____.
$||\vec{E}_4|| =$_____ _____.
$||\vec{E}_5|| =$_____ _____.

Desenhe no papel de grafite os cinco vectores campo eléctrico correspondentes aos cálculos anteriores.

Explique porque razão as equipotenciais são, sempre, perpendiculares ao limite do papel.

Trabalho Experimental 2

Lei de Ohm e Circuitos de Corrente Contínua

Neste trabalho pretende-se investigar a Lei de Ohm e as regras que permitem determinar a resistência equivalente a associações em série e em paralelo de resistências.

2.1 Introdução

Muitos elementos usados em circuitos eléctricos obedecem à Lei de Ohm, descoberta pelo físico alemão Georg Ohm (1787-1854). Esta lei relaciona a diferença de potencial eléctrico (V) aplicada um elemento, a corrente eléctrica (I) que o atravessa e a resistência eléctrica (R) do material constituinte desse elemento :

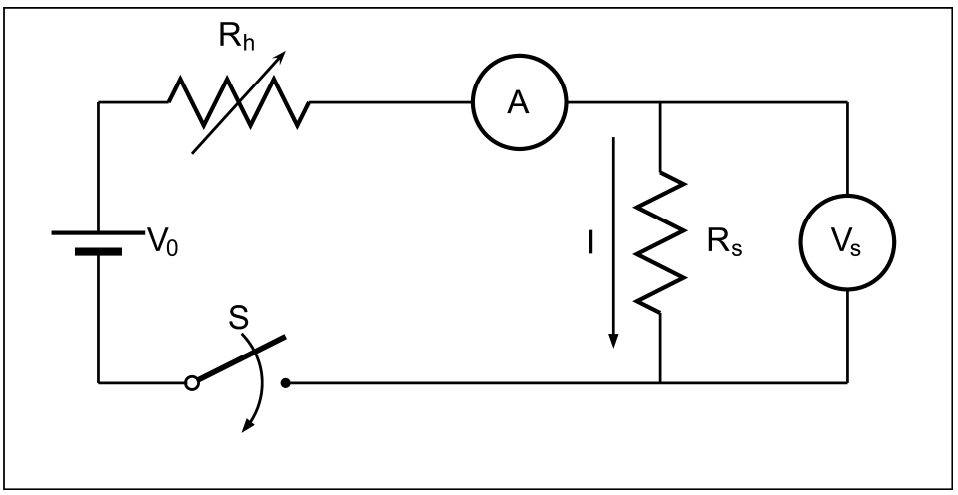
$$V = RI$$

A resistência R é medida em ohms (símbolo convencional Ω). Trata-se de uma lei empírica que não é válida para todos os materiais.

Se a lei for aplicável a um determinado material, um gráfico de $V(I)$ será uma linha recta com declive R e ordenada na origem nula. Quando isto é verdadeiro, o material diz-se *óhmico* ou *resistivo*.

Em alguns casos, um gráfico de $V(I)$, a chamada "característica", não será uma linha recta. Um material para o qual isto é verdadeiro, diz-se *não-óhmico*, uma vez que a Lei de Ohm não descreve as suas propriedades eléctricas. Neste caso, a resistência não é constante mas função da corrente eléctrica. O filamento de uma vulgar lâmpada é não-óhmico, pois o metal de que é composto torna-se mais quente (e emite luz) à medida que a corrente aumenta e a sua resistência aumenta com o aumento de temperatura.

Considere o circuito da figura seguinte. Trata-se de um circuito de duas resistências em série. A tensão aplicada V_f é fornecida por uma fonte de corrente contínua. A resistência variável, o reóstato R_h, permite variar a diferença de potencial aos terminais da resistência R_s.



Um amperímetro A mede a corrente que atravessa a resistência R_s e um voltímetro V mede a queda de potencial ao longo de R_s.

Os cabos de ligação, o amperímetro e o voltímetro apresentam, todos eles, resistências não nulas. No entanto, os fios metálicos e o amperímetro têm resistências desprezáveis, podendo-se, assim, ignorar a sua influência na corrente do circuito.

O voltímetro, por seu lado, tem uma resistência muito elevada, de tal modo que a corrente que o atravessa é bastante baixa. Logo, podemos afirmar que o voltímetro regista a diferença de potencial aos terminais da resistência e o amperímetro lê a corrente no circuito.

Aplicando a Lei de Ohm à resistência R_s, vem

$$V_s = IR_s,$$

com as leituras do voltímetro e do amperímetro dadas por V_s e I, respectivamente. A corrente I flui, também, através da resistência R_h, provocando a queda de potencial

$$V_h = IR_h$$

Aplicando a lei das malhas de Kirchoff a ambas as resistências, constata-se que a soma das duas quedas de potencial terá de ser compensada pela tensão da fonte V_f,

$$V_f = V_h + V_s,$$

ou

$$V_f = IR_h + IR_s = I(R_h + R_s) = IR_{\text{eq}} \qquad (\text{com } R_{\text{eq}} = R_h + R_s).$$

Resulta, então, que a corrente que atravessa uma resistência constante R_s, pode ser variada e controlada pela resistência variável R_h de um reóstato.

A potência dissipada numa resistência é dada por

$$P = IV = \frac{V^2}{R} = I^2R.$$

2.2 Parte Experimental

2.2.1 Material utilizado

- Amperímetro
- Voltímetro
- Reóstato
- Três resistências de 4.7 kΩ
- Resistências de 1.0 kΩ
- Resistências de 2.0 kΩ
- Resistência desconhecida
- Bateria ou fonte de tensão
- Cabos de ligação banana–banana.
- Folha de papel gráfico
- Interruptor
- Régua
- *Shunts*

2.2.2 Procedimento experimental

2.2.2.1 Experiência A: A Lei de Ohm

1. Estabeleça o circuito da figura anterior com o interruptor aberto (e com a fonte de alimentação desligada). Escolha para a resistência variável R_h o seu valor máximo e para R_s um valor próximo de 1kΩ. Verifique que o amperímetro está ligado em série com a resistência. Antes de fechar o interruptor chame o docente.

2. Após a verificação da montagem pelo docente, regule para 3 V e ligue a fonte de alimentação. Leia os valores da tensão e da corrente nos medidores. Registe-os na Tabela 1 da folha de registo. Repita o procedimento para quatro valores, sucessivamente mais baixos, da resistência R_h. Para uma melhor análise de dados, aconselha-se a tomada de valores regularmente espaçados e tão espaçados quanto possível.

3. Repita o ponto anterior para outro valor de R_s (à volta de 2 kΩ), faça o respectivo registo na Tabela 2.

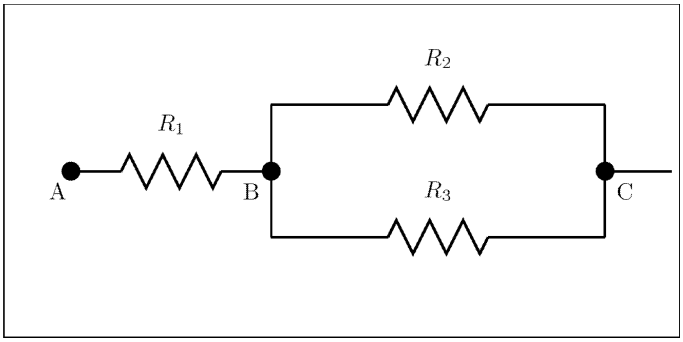
4. Repita novamente com a resistência desconhecida, efectuando o registo na Tabela 3.

5. No mesmo gráfico represente os dados $V(I)$ das três tabelas e trace as melhores rectas para cada uma delas; determine os declives e as ordenadas na origem.

6. Compare os declives da primeira e da segunda recta com os valores nominais de R_s calculando as diferenças percentuais.

2.2.2.2 Experiência B: Associação de Resistências

1. Seleccione três resistências de 4,7 kΩ e 2 W e associe-as como se mostra na figura seguinte.



Meça as resistências de A a B (R_{AB}), de B a C (R_{BC}), e de A a C (R_{AC}) com um ohmímetro. Em seguida, estabeleça uma diferença de potencial de 12 V entre os pontos A e C, usando a fonte de tensão. Antes de fechar o interruptor chame o docente.

2. Meça as quedas de potencial de A a B (V_{AB}), de B a C (V_{BC}) e de A a C (V_{AC}). Compare V_{AB} e V_{BC} com os seus valores teóricos (esperados) assumindo $V_{AC} = 12$V e assumindo como verdadeiros os valores nominais das resistências.

3. Calcule qual das resistências R_{AB} e R_{BC} dissipa mais calor. Justifique.

2.3 Folha de Registo do Trabalho Experimental n^{o}2

Data:_____ Turno Prático:_____ Grupo:_____.

N^o:_____ Nome:_____ Curso:_____.

N^o:_____ Nome:_____ Curso:_____.

Experiência A

Tensão aos terminais da fonte de tensão: _____ _____

Resistência R_h Valor máximo: _____ _____

Primeira Resistência R_s Valor nominal $R_N =$ _____ _____

Tabela 1

Unidades / Exp. N^o	V_s	I_s
1		
2		
3		
4		
5		

Declive (R_M):

_____ _____

Diferença relativa percentual ($\frac{R_M - R_N}{R_N} \times 100\%$):

_____ _____

Segunda Resistência R_s Valor nominal $R_N =$ _____ _____

Tabela 2

Unidades / Exp. N^o	V_s	I_s
1		
2		
3		
4		
5		

Declive (R_M):

_____ _____

Diferença relativa percentual ($\frac{R_M - R_N}{R_N} \times 100\%$):

_____ _____

Tabela 3

Unidades / Exp. Nº	V_s	I_s
1		
2		
3		
4		
5		

Declive R_M =

_____ _____

Experiência B

R_{AB} =_____ _____

R_{BC} =_____ _____

R_{AC} =_____ _____

Quedas de potencial

	Valores experimentais	Valores teóricos
V_{AB}		
V_{BC}		
V_{AC}		—

Resistência que dissipa mais calor:_____ Justificação: _____

_____

_____